

GEODEZIJA I VEŠTAČKI ZEMLJINI SATELITI

Momčilo ĐORĐEVIĆ — Beograd

U toku nekoliko vekova koordinate tačaka, na kojima se zasnivalo određivanje veličine i oblika Zemlje, određivane su pomoću triangulacije. Međutim, to je mukotrpan put koji i do dan danas nije okončan. Kako ljudsko društvu evoluiralo kao celina, i na tom polju u periodu poslednjih godina bile su predložene tri metode za efikasnije određivanje koordinata tačaka:

1. elektronska — trilateracija
2. gravimetriska — fizička geodezija
3. kosmička — satelitska geodezija.

Kosmička ili satelitska geodezija kao nauka o određivanju veličine i oblika Zemlje i položaja osnovnih tačaka na njenoj površini suštinski je nastala u XX veku radovima G. Baternana (1902 god.) — metoda opažanja zvezda zaklonjenih Mesecom; T. Banahieviča (1929 god.), V. Lamberta (1949 god.) — metoda opažanja potpunih sunčevih pomračenja, A. Mihaulova (1954 god.) V. Markovica (1954 god.) — metoda fotografskog opažanja Meseca i zvezda. Međutim sasvim nova epoha u razvoju kosmičke geodezije nastala je tek lansiranjem veštačkih zemljinih satelita. Opažanje satelita pretstavila su se kao sasvim efektivna metoda koja je za kratko vreme svoje primene stekla veliki značaj i koja još mnogo više obećava u bliskoj budućnosti.

Opažanja veštačkih zemljinih satelita omogućuje sasvim tačno rešavanje složenih zadataka geodezije kao što su određivanje spljoštenosti Zemlje i parametra njenog gravitacionog polja; određivanje apsolutnih koordinata tačaka u sistemu centra mase Zemlje; veze raznih geodetskih sistema i referenc elipsoida sa centrom mase i među sobom; ustanovljenje parametara i orijentacije opšteg elipsoida Zemlje; obrazovanje jednog svetskog koordinatnog sistema, kao i niz drugih dopunskih zadataka od kojih treba pomenuti: određivanje tačnih položaja satelita za navigacione i druge ciljeve; kalibriranje novih sistema za praćenje satelita; kartografisanje, izučavanje veličine, oblika i gravitacionog polja Meseca i drugih planeta i td.

Razvoj te moderne kosmičke geodezije može se podeliti u dve etape — počevši od prvog lansiranog satelita u SSSR-u 4. X 1957 god. pa do 1961 god. kad su se za geodetske radove koristili svi lansirani veštački zemljini sateliti i sretstva za praćenje njihove putanje i etapa posle 1962 god. kad su se u orbitu počeli uvoditi specijalni geodetski sateliti, dok su se za praćenje njihove putanje i obradu dobijenih podataka koristila tehnička oprema koja je odgovarala zahtevima tako nastale savremene satelitske geodezije.

Adresa autora: Momčilo Đorđević, dipl. ing. — Beograd — Ustanička 129

Jedinstven satelitski program, specijalno namjenjen za geodetske ciljeve u savremenim uslovima koji se ostvaruju u SAD-u nazvan je ANNA. Taj program je ostvaren kao rezultat zajedničkih napora US Army Nave, NASA i Air Force od čijih početnih slova je i proizašao naziv programa. Ovaj program uključuje lansiranje više satelita od kojih je prvi, nazvan »ANNA 1—B« uspešno lansiran 31. X. 1962 god. i to na sasvim kružnom orbitu ($e = 0,025$) sa nagibom oko 50° , 1 i visinom perigeja 1082 km. Ovaj satelit imao je oblik sferoida težine 161,2 kg čiji je polarni radijus iznosio 19,4 cm a ekvatorialni (uključujući i pojas sunčanih baterija) 121,9 cm. Na satelitima iz toga programa postavljena je oprema koja se uglavnom sastoji od tri osnovna sistema: optički far, sistem »Transit« i sistem »SECOR«.

Optički far se sastoji od dva fara impulsnih ksenonskih lampi koje po zadanom programu daju seriju od pet svetlosnih bljesaka u trajanju od 1,2 milisekunde sa intervalom 5,6 sekundi. Tačnost momenta bljeskova obezbeđuje elektronski časovnik čiji se hod koriguje visokostabilnim termostatskim kvarcnim generatorom. Električno napajanje se vrši od nikl-kadmijumskih baterija. Utrošak električne energije za ove svetlosne signale je vrlo veliki pa to i ograničava njihov broj na oko 20 u toku od 24 časa. U toku januara 1963 god. prema službenim podacima, ove svetlosne signale opažalo je 60 stanica koje su razumno raspoređene po površini Zemlje. Prva iskustva omogućila su uzajamno određivanje niza tačaka u SAD-u sa greškama u granicama do 14 m dok su pravci između njih dobijeni sa greškama manjim od 2".

Sistem »Transit« obezbeđuje korišćenjem doplerovskog sistema, merenje promene frekvencije signala sa satelita. U tom cilju sa satelita se vrši neprekidno emitovanje visokostabilnih elektromagnetskih oscilacija: dve od njih služe neposredno za geodetska merenja (162 i 324 MHz), a dve (54 i 216 MHz) za izučavanje jonosferske refrakcije i kao rezerva u slučaju da prve dve prestanu sa radom. Signali koji se emituju, fazno su modulirani približno svakih 90 sekundi signalima tačnog vremena dobijenog od kvarcnog časovnika. Jačina predajnika na satelitu je vrlo mala što i omogućuje neprekidno emitovanje signala i na taj način konstantno praćenje putanje satelita. Ispitivanja na specijalnoj mreži TRANET pokazala su da po unutrašnjoj tačnosti greška merenja iznosi $\pm 5-10$ m. Stanice za opažanje doplerovskog sistema »Transit« raspoređene su uglavnom na teritoriji SAD-a — na Aljaski, Havajskim ostrvima i na nekim ostrvima u Tihom okeanu. Pored njih postavljene su stanice i u Engleskoj, UAR, Australiji, Braziliji, Japanu, Filipinima i Grenlandu. Broj stanica u januaru 1963. god. iznosio je 45.

Sistem »SECOR« (Sequential Collation of Range) koristi se za određivanje odstojanja od satelita do stanica na Zemlji. Na satelitu je instaliran primopredajnik, koji po uputstvu sa stanica na Zemlji, vrši retranslaciju primljenih moduliranih elektro-magnetskih oscilacija. Za eliminisanje jonosferske refrakcije, emitovanje sa satelita se vrši na dve frekvencije (224,5 i 449 MHz). Jednovremeno rade četiri stanice na Zemlji od kojih koordinate za tri stanice moraju biti poznate dok se za četvrtu mogu odrediti. Stanice na Zemlji povezane su između sebe sinhronom mrežom vrlo niske frekvencije i emitovanje signala se vrši naizmenično tako da se i signali sa različitih stanica primaju na satelitu naizmenično. Ograničena jačina izvora napajanja satelita omogu-

čuje ostvarenje samo 6—7 kompleta merenja u toku od 24 časa. Za vreme od 7 minuta sa svake stanice se izvrši 8400 merenja odstojanja i svi podaci, zajedno sa vremenskim momentom izvršenog merenja, registruju se na magnet-skoj traci.

Kao dopuna sistemu geodetske opreme na satelitima iz ovog programa, postavljen je još čitav niz različitih instrumenata koji su namenjeni za ispitivanje okružujućeg kosmičkog prostiranja kao i za određivanje orijentacije samog atelita.

Pored satelita »ANNA 1—B« izvršeno je lansiranje i drugih satelita u geodetske svrhe kao što su »Sekor 1«, »Sekor 7«, »Geos«, »Pageos« i drugi tako da je do oktobra 1966 god, lansirano ukupno 18 geodetskih veštačkih zemljinih satelita. Prema tome korišćenje lansiranih satelita u geodetske svrhe ima već dovoljno dugačku istoriju. Tako se već smatra da je glavni nedostatak geodetskih satelita težina uređaja neophodna za davanje svetlosnih signala kao i to da lako moguće oštećenje njihove složene opreme potpuno izbacuje satelit iz upotrebe. Pored toga, vreme korišćenja lansiranih satelita ograničeno je i vekom trajanja svetlosnog izvora.

Da bi se odstranile te teškoće i satelit učinio vidljivim i kad se kreće u senci Zemlje, predloženo je prenošenje izvora svetlosti sa satelita na zemlju i to pored stanica za opažanje satelita. U tom slučaju koristila bi se svetlost koja se odbija od samog satelita. Pri tome sva složena oprema nalazila bi se na Zemlji gde se ista može regulisati i eventualno popraviti u slučaju kvara. U isto vreme težina satelita svela bi se na minimum. Izvor svetlosti na Zemlji morao bi da bude dovoljno jak da bi njegova svetlost mogla dva puta proći kroz atmosferu — do satelita i natrag, i da bi se ona mogla registrovati na uređajima koji se nalaze na stanici.

Za realizaciju te ideje bilo je predloženo više načina ali je najprihvatljivija primena optičko kvantnih generatora — Lasera, koja je i predložena programom »Largos« (Laser Activated Reflecting Geodetic Satellite). Ovim programom predviđeno je praćenje satelita posredstvom elektronskih uređaja čiji podaci dolaze u računске uređaje koji određuju pravce svetlosnih snopova sa stanica prema satelitu. Ove informacije automatski se predaju sa računskih uređaja na odgovarajuće uređaje koji se nalaze na stanicama i koji vrše navođenje laserskih svetlosnih snopova na odgovarajuće pravce. Laseri na pojedinim stanicama uključuju se prema signalima sa centralnog mesta koje se nalazi na jednoj od stanica. Za kompenzaciju razlike odstojanja između pojedinih stanica i između stanica i satelita, potrebno je izvršiti regulaciju vremena reda milisekunde. Na samom satelitu, u cilju odbijanja laserskog svetlosnog snopa, preporučeno je korišćenje prizmatičnih odbijača. Razmere odbijača treba da budu određene u zavisnosti od ograničenja težine samog satelita. Pored optičkih odbijača predviđeno je da satelit bude snabdeven i sistemima »Minitrak« i »Transit« radi uspešnog elektronskog praćenja. Planira se korišćenje lasera ili u kombinaciji sa fotografskom kamerom za određivanje pravca prema satelitu ili kao uređaja za određivanje odstojanja u kom slučaju se vreme dolaska odbijene svetlosti registruje pomoću fotoćelije i sračunava vreme za koje je svetlosni impuls prešao put do satelita i natrag.

Prvi geodetski satelit sa 360 odbijača svjetlosti, svaki veličine 2,5 cm, lansiran je u SAD-u 9 X 1964 god. pod nazivom »Beacon Explorer XXII«. Satelit je lansiran na kružnu orbitu sa nagibom od 80° i visinom perigeja 925 km. Laserski predajnik bio je instaliran na Islandu.

Kao aktivnu materiju kod lasera je korišćen rubin ($\lambda = 6943 \text{ \AA}$) dijametra 15 cm dok je prijemnik bio snabdeven fotočelijom i računskim uređajem za određivanje vremena prostiranja odbijenog signala. Kao rezultat se navodi da je odstojanje do satelita veličine 1 571 944 m izmereno sa relativnom greškom veličine $5 \cdot 10^{-6}$.

Konkretan program primene satelita za geodetska ispitivanja razrađen je od strane NASA i isti je već počeo da se ostvaruje. Predviđeno je lansiranje tri tipa geodetskih veštačkih satelita. Sastavljen je i program o stvaranju fundamentalne svetske geodetske mreže od 12 tačaka prema rezultatima sinhronih fotografskih opažanja pasivnog veštačkog zemljinog satelita koji bi bio lansiran na kružnu orbitu sa visinom od 12 000 km iznad zemljine površine. Razmera te mreže odredila bi se iz laserskih merenja. Predviđa se dobijanje uglovne tačnosti reda $0^{\circ},5-1''$,0 ako se budu koristili instrumenti sa objektivom dijametra 20—30 cm i fokusnim odstojanjem 150—250 cm. Preporučeno je primenjivanje metode kompenzacije i pri navedenim uslovima i izmerenim dvema osnovicama sa tačnošću reda $0,5-1,0 \cdot 10^{-6}$, uzajamni položaj dve antipodne tačke biće određen sa greškom reda 20—40 m.

Iz uredništva:

Ispričavamo se pretplatnicima »Geodetskog lista« zbog zakašnjenja u izlaženju posljednjih brojeva, koje je uslijedilo uslijed poteškoća u tiskari.

Uredništvo